

***А. В. Левина, Л. А. Мальцева*, Т. В. Мальцева, Н. Н. Озерец,
С. А. Демидов, Г. А. Ягудин, П. Н. Шишкин***

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,
г. Екатеринбург

**mla44@mail.ru*

ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В работе исследована структура, морфология, микротвердость многослойных металлических композиционных материалов, механические свойства получаемых композитов и фрактограммы изломов. Показана возможность получения композиций из разных материалов методом сварки взрывом. Проанализированы возможные механизмы сцепления слоев.

Ключевые слова: сварка взрывом, многослойный металлический композит, поверхность раздела.

***A. V. Levina, L. A. Maltseva, T. V. Maltseva, N. N. Ozerets, S. A. Demidov,
G. A. Yagudin, P. N. Shishkin***

STUDYING THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF METALLIC COMPOSITE MATERIALS

Structure, morphology, microhardness multilayer metal composite material, the mechanical properties of the resulting composites and fraktogrammy fractures studied in this work. The ability to obtain compositions of different materials by explosion welding is shown. Possible mechanisms of adhesion layers are analyzed.

Keywords: explosion welding, multi-metal composite interface.

Целью настоящей работы являлось изучение структур зоны соединения и переходной зоны многослойных композиций из разнородных металлических материалов, полученных сваркой взрывом. Сварка взрывом представляет собой высокоинтенсивное кратковременное воздействие и позволяет получать многослойные композиционные материалы. В качестве соединяемых материалов выбраны пластины алюминиевого сплава Д16 и высокопрочной мартенситно-старееющей стали ЗИ90-ВИ (03Х12Н9К4М2ЮТ), бериллиевой бронзы БрБ2 и титанового сплава ОТ4-1. Свариваемые пакеты состояли из трех или пяти чередующихся слоев. Материалы перед сваркой были подвергнуты термической обработке: пластины толщиной 0,20 мм из мартенситно-старееющей стали

закалке в воду от 1000 °С 20 мин; нагартованный лист из сплава Д16 толщиной порядка 1,0 мм – отжигу при температуре 350 °С 30 мин; прокатанный лист при температуре 980 °С толщиной 1,0 мм – отжигу при 650 °С 30 мин.

Трехслойный композит Д16 – ЗИ90-ВИ – Д16 и пятислойный Д16 – ЗИ90-ВИ – Д16 – ЗИ90-ВИ – Д16

В композите Д16 – ЗИ90-ВИ – Д16 граница раздела плоская, неровностей не наблюдается. Такая граница раздела обусловлена подобранными режимами сварки, которые соответствуют так называемой нижней границе. При таких режимах согласно [1–3] волнообразование может не происходить, т. к. число Рейнольдса для этого эксперимента составляет 7, что значительно меньше критического (для образования волнообразования должно быть $Re > 10$) [4]. Следует отметить, что вдоль границ раздела со стороны дуралюминия наблюдается более светлая переходная зона толщиной 30–40 мкм, несколько обедненная легирующими элементами. Микротвердость сплава Д16 после сварки составляет порядка 200 HV_{10} , что выше, чем в исходном состоянии. Микротвердость стали ЗИ90-ВИ также повысилась и составляет 500 HV_{10} . В переходной зоне при подходе к границе раздела выявлено снижение микротвердости ($\Delta HV_{10} = 50–80$). В пятислойном композите у сплава Д16 – ЗИ90-ВИ границы раздела также плоские, неровности незначительные. С обеих сторон контактных поверхностей сформирована узкая (толщиной 15–25 мкм) переходная зона. В структуре обнаружены небольшие островки светлого цвета. Предположительно, попавший в результате перемешивания металл соединяемых слоев. Эти «островки» отличаются пониженным содержанием алюминия (около 85 ат. %) и содержат также железо, хром и никель. Микротвердость материалов в пятислойном композите такая же, как и в трехслойном: 200 HV_{10} у сплава Д16 и 500 HV_{10} у стали. Излом во всех зонах разрушения по сечению композита вязкий, ямочный.

Пятислойный композит ЗИ90-ВИ – Д16 – ОТ4-1 – Д16 – ЗИ90-ВИ

Вдоль всей поверхности раздела обеспечено хорошее соединение, без пор и несплошностей. Границы раздела имеют характерную для сварки взрывом слабую волнообразную форму. Волнообразный профиль со стороны удара характеризуется гораздо меньшей амплитудой и длиной волны, чем в вышеописанном пятислойном композите.

Результаты микрорентгеноспектрального анализа показали, что в приконтактной зоне образовались тонкие (порядка 1,0–2,0 мкм) участки измененного химического состава. Вблизи границы раздела сплав Д16 – титановый сплав наблюдается зона перемешивания, образование которой связано, по-видимому, с процессами локального расплавления и

последующей кристаллизации. Возможно, она является достаточно узкой зоной диффузионного перемешивания атомов титана в сталь, что приводит к некоторому снижению микротвердости. Микротвердость алюминиевого сплава Д16 составляет почти $200HV_{10}$, титанового сплава – $300HV_{10}$; мартенситностареющей стали – $500HV_{10}$. Механические свойства композита: $\sigma_b = 685$ МПа, $\sigma_{0,2} = 525$ МПа, $\delta = 9\%$.

По работе можно сделать следующие выводы:

- Форма границы раздела в исследованных многослойных композитах не является причиной упрочнения и обусловлена природой соударения.

- Формирование волнообразной границы раздела сопровождается образованием областей интенсивного перемешивания в переходной зоне.

- Результаты структурных исследований и механических испытаний свидетельствуют о высоком качестве сварного соединения из тонколистовых материалов.

Работа выполнена при финансовой поддержке постановления № 211 Правительства Российской Федерации, контракт № 02.А03.21.0006 и НИР № 2014/236 на выполнение Госработ в сфере научной деятельности в рамках базовой части Госзадания № 2480 Минобрнауки РФ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бесшапошников Ю. П., Кожевников В. К., Чернухин В. И. О влиянии прочности материала на геометрию соударения пластин в условиях сварки взрывом // Обработка материалов импульсными нагрузками : сб. науч. тр. Новосибирск : Изд. СО АН СССР, 1999. С. 225–229.
2. Волнообразование при косых соударениях : сб. ст. Новосибирск : ИДМИ, 2000. 211 с.
3. Дерибас А. А. Физика упрочнения и сварка взрывом. Новосибирск : Наука, 1982. 188 с.
4. Gowan G. R., Bergman O. R, Holtzman A. H. Mechanizm of zone ware formation in explosion-clad metals // Metall. Mater. Trans, 1971. Vol. 11. № 2. P. 3145–3155.